



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

PROCESY VOLNÉHO A ZÁPUSTKOVÉHO KOVÁNÍ

PROCESSES OF OPEN-DIE AND DIE FORGING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Radek Tvrdoň

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.

BRNO 2018

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Radek Tvrdouš**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.**
Akademický rok: 2017/18

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Procesy volného a zápustkového kování

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Kování patří k základním technologiím objemového tváření kovů realizovaných za kovací teplot. Volným kovářím se pomocí jednoduchých nástrojů zhotovují výkovky o hmotnosti několika kilogramů až stovek tun. V zápustkách se kováří tvarově složitě výkovky, jejichž hmotnost se zpravidla pohybuje v řádu jednotek až desítek kilogramů. Účelem práce je zpracovat literární studii pojednávající o současném stavu a rozvoji těchto technologií.

Cíle bakalářské práce:

- Zpracovat charakteristiku technologie volného kování a kování v zápustkách.
- Analyzovat proces konstrukce volného a zápustkového výkovku.
- Provést rozbor metod a technologických postupů užívaných při kování typických zápustkových výkovků.
- Rozebrat postup volby kovacího stroje.
- Popsat konstrukci kovací zápustky pro kovací lis a buchary.

Seznam doporučené literatury:

HOSFORD, William F. and Robert M. CADDEL, Metal Forming: Mechanics and Metalurgy. 3th ed. New York: Cambridge University Press. 2007, 365 s. ISBN 978-0-521-88121-0.

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA, Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: Akademické vydavatelství CERM, s. r. o., 2006, 217 s. ISBN 80-214-2374-9.

ASM-Metals Handbook: Forming and Forging, Vol.14. USA ASM International. 2004, S. 978. ISBN 0-87170-020-4.

LIDMILA, Zdeněk, Teorie a technologie tváření II. Brno: Univerzita obrany, 2008. 106 s. ISBN 978-8-7213-580-2.

Kovárenství. Brno: Svaz kováren ČR o.s., 2016, 2016(56). ISSN 1213-9289.

Kovárenství. Brno: Svaz kováren ČR o.s., 2015, 2015(53). ISSN 1213-9289.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

TVRDOŇ Radek: Procesy volného a zápustkového kování.

Práce předkládá teoretický souhrn procesů kování. Pojednává o výběru polotovaru, stroje i tvářecího procesu pro oba druhy kování. Vysvětluje důvody použitelnosti volného kování pro výrobu jednoduchých součástí a zápustkového kování pro součásti složitější. Při řešení zápustkového kování je práce rozšířena o návod k vytvoření výkresu výkovku, jehož jmenovité rozměry jsou zvětšeny o uvedené přídavky. Na výkres navazuje vysvětlení postupu konstrukce zápustkové dutiny, která je odlišná pro lis a buchary. V práci je popsán i postup výpočtu kovací síly a práce.

Klíčová slova: kování, lis, buchar, polotovar.

ABSTRACT

TVRDOŇ Radek: Processes of open-die and die forging.

The thesis presents a theoretical summary of forging processes. It deals with the selection of semi-finished product, machine and also forming processes for both types of forging. It explains the usability of open-die forging for making simple parts and die forging for more complex components. While solving the die forging, the thesis is extended with instructions for making a drawing of a forged piece, which nominal dimensions are extended by mentioned additions. The drawing is followed by explanation of procedure of creation a die cavity, which is different for presses and hammers. The thesis also describes the process of calculations of forging force and labor.

Keywords: forging, press, hammer, semi-finished product.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

TVRDOŇ, Radek. *Procesy volného a zápusťkového kování*. Brno, 2018. 28s, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že jsem předkládanou bakalářskou práci vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Brně dne 25. 5. 2018

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu doc. Ing. Zdeňku Lidmilovi, CSc. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce. Děkuji své rodině za podporu. Děkuji svým strojařským přátelům, se kterými je studium zábavná hra.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

ÚVOD	9
2 PLASTICKÁ DEFORMACE	10
3 KOVÁNÍ	12
3.1 VOLNÉ KOVÁNÍ.....	13
3. 1. 1 VOLBA VÝCHOZÍHO POLOTOVARU VOLNÉHO KOVÁNÍ.....	14
3. 1. 2 PROCESY VOLNÉHO KOVÁNÍ	15
3. 1. 3 STROJE PRO VOLNÉ KOVÁNÍ	16
3. 2 ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ	18
3. 2. 1 KONSTRUKCE ZÁPUSTKOVÉHO VÝKOVKU	19
3. 2. 2 STROJE PRO ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ	20
3. 2. 3 POSTUP ZÁPUSTKOVÉHO KOVÁNÍ.....	21
3. 2. 4 KOVACÍ SÍLA A PRÁCE	22
3. 2. 5 VOLBA STROJE	25
3. 2. 6 KONSTRUKCE ZÁPUSTKY PRO LISY A BUCHARY	25
3. 2. 7 VÝBĚR POLOTOVARU PRO ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ.....	26
3. 3 SPECIÁLNÍ ZPŮSOBY KOVÁNÍ.....	27
4 ZÁVĚRY	28

Seznam použitých zdrojů

Seznam obrázků

ÚVOD

Již po tisíciletí je kování neodmyslitelnou součástí civilizace. Od mečů a brnění jsme postoupili značný kus cesty k součástem používaných téměř ve všech oblastech strojírenství. Nevyhnutelnou součástí pokroku byl výzkum teorií tváření, který neustále prohlubujeme. Touto metodou objemového tváření za tepla jsme schopni vyrábět malé, až několika set tunové výkovky. Ocel je nutno zahřát na 800 až 1200 °C, ostatní neželezné kovy jsou také kovány za teplot o 50-150°C vyšších než jsou jejich teploty rekrystalizace. Principem je provádění úderů na bucharu nebo klidné působení síly na lisu. Zlepšení mechanických vlastností materiálu jednoznačně patří k výhodám použití technologie kování.

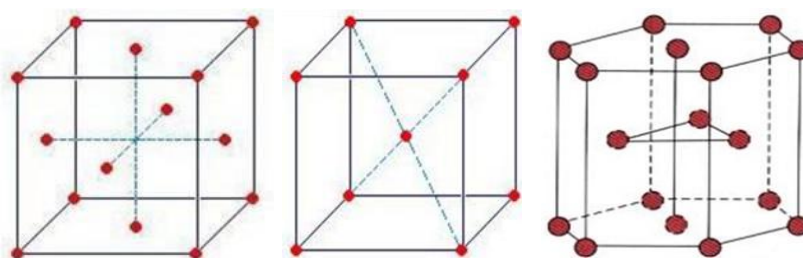
Základní rozdělení je na kování volné na kovádle (ruční i strojové) a kování v zápustkách. Zápustkové kování je rozšířenější zejména díky automobilovému průmyslu, ve kterém splňuje požadavky na přesnost, úsporu materiálu i nižší pracnost. Typickými výkovky jsou šrouby, kulové čepy, ojnice i hřídele, které se většinou dále obrábějí.

2 PLASTICKÁ DEFORMACE [1] [2] [3] [5]

Plastická deformace je základním jevem při tváření kovů a jejich slitin. Jedná se o trvalou změnu tvaru materiálu způsobenou vnějšími silami. Každé této změně předchází deformace elastická, neboli pružná. Pojem deformace spojujeme s rozměrovými změnami a zkoumáním mezních stavů monokrystalů a polykrystalů. Pro velké plastické deformace, při tváření polykrystalických kovů, se užívá pojmu přetvoření.

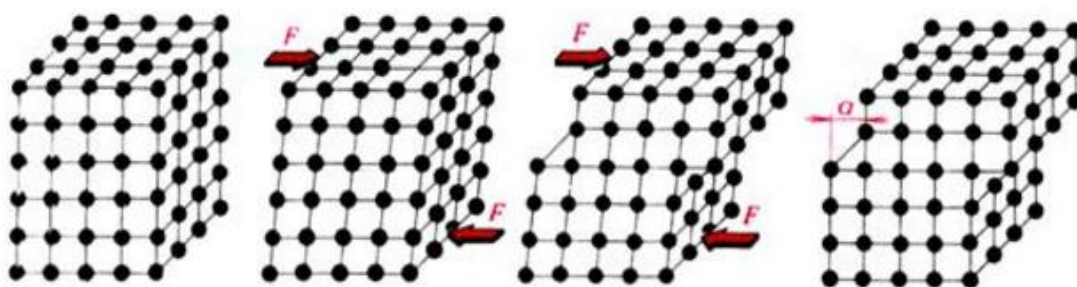
Abychom mohli zdárně předvídat průběh přetvoření, musíme věnovat pozornost přirozenému stavu uspořádání atomů zaujímajících pravidelné geometrické tvary. Většina technických kovů krystalizuje (při přechodu z kapalného do tuhého stavu) v soustavách krychlových (plošně či prostorově středěných) nebo šesterečných, jak můžeme vidět na obrázku 1. Tyto krystaly dále tvoří shluky, nazývané zrna, jež mají různě orientovanou mřížku. Reálné kovy jsou tím pádem ne monokrystaly, nýbrž polykrystaly. Při přetváření materiálu je nutné soustředit se na změny krystalové struktury, která mají dále za následek deformace zrn a možné celkové porušení křehkým či tvárným lomem.

Nevratnost děje je hlavním znakem plastických deformací, které nastávají buď na hranicích, nebo uvnitř zrn. Dvěma nejčastějšími mechanismy plastické deformace jsou kluz a dvojčatění.



Obr. 1 Typy krystalových mřížek [3]

- Kluz spočívá v posunu krystalových mřížek vůči sobě navzájem (viz Obr. 2). Zákonitosti, kterými se řídí, jsme získali díky pokusům různých krystalografických staveb.
 - Obvykle nastává v rovinách s nejvyšší hustotou atomů.
 - Jeho směr je totožný s nejhustěji obsazenými atomovými rovinami.
 - Nastane ve směrech, ve kterých smykové napětí dosáhne kritické hodnoty.



Obr. 2 Mechanismus průběhu kluzu [5]

- Dvojčatění spočívá v natočení jedné části mřížky vůči druhé (viz Obr. 3). Toto natočení nastává kolem roviny symetrie a vytváří zrcadlový obraz, tzv. mechanické dvojče. Dvojčata vznikají nejčastěji při tváření rázem, avšak také vlivem napětí při ohřevu.

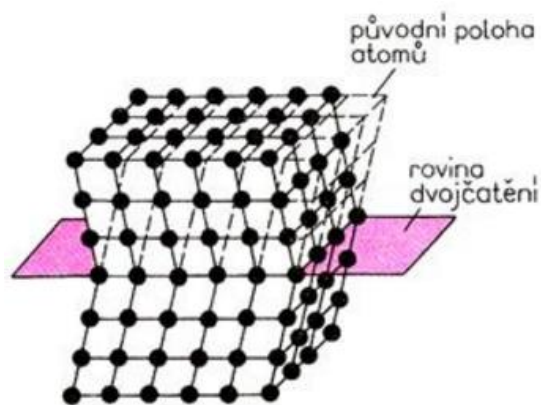
Častější a méně energicky náročnou deformací je kluz. Přesto, abychom dosáhli velkého přetvoření, musíme uplatnit mechanismy oba. Dvojčatění pomáhá k orientaci kluzových systémů a tím přispívá samotné realizaci kluzů.

Velikost plastické deformace je nejvíce ovlivňována teplotou a rychlostí zatěžování. Tyto veličiny jsou totiž v přímé korelaci se stavem napjatosti. Ten způsobuje ony změny tvaru a rozměrů materiálu při překročení meze kluzu. Nutností však je kontrolovat velikost sil a rychlost zatěžování aby nedošlo k překročení napětí, jež by způsobilo porušení soudržnosti kovu- lom. Každý materiál má určitou mezní plasticitu, kterou můžeme využít, aniž by se porušila soudržnost. Tedy můžeme materiál tvářet tak dlouho, dokud deformace struktur, jak krystalů, tak zrn, nejsou příliš velké. Když ale potřebujeme tvářet dále a plasticita je již vyčerpána, pro další přeměny/deformace, musíme materiál rekrystalizovat. Toho dosáhneme zahřátím na rekrystalizační teploty, které se u oceli pohybují mezi 500-700 °C. Rekrystalizace jako taková obnoví zdeformované struktury na původní nedeformované, avšak orientace nových zrn se výrazně liší od těch původních. Materiál tedy můžeme dále tvářet, nebo jej již použít jako hotový výrobek (případně dále obrábět).

Ve spojitosti s teplotou se tváření dělí na tváření za tepla, kdy je materiál tvářen za teplot vyšších než je rekrystalizační teplota (cca 0,5 krát teplota tavení) a tváření za studena, kdy naopak tváříme za teplot pod teplotou rekrystalizace (cca 0,3 krát teplota tavení). Výhodou tváření za tepla je především možnost použití menších sil, jelikož s vyššími teplotami stoupá také přetvárná schopnost materiálu.

Další významné dělení, v závislosti na převládajícím stavu napjatosti v tvarovaném materiálu, je na tváření plošné (např. tažení, ohýbání, stříhání) a objemové (např. válcování, kování, protlačování).

- Plošné tváření je používáno pro součásti malých, ale i velkoplošných rozměrů. Výroba probíhá za studena a polotovary bývají převážně plechy, či tenkostěnné profily. Deformace nastává zpravidla ve dvou osách souřadnicového systému.
 - Tažení používáme k přetvoření rovinného přístřihu v duté těleso.
 - Ohýbání se používá u plechů, tyčí i profilů. Můžeme ohýbat za tepla i studena.
 - Stříhání spočívá v oddělování částí polotovaru protilehlými břity nožů. Dají se stříhat výrobky milimetrových až několika metrových rozměrů.
- Objemové tváření používáme při výrobě součástí malých i gigantických rozměrů. Postupy při nichž se využívá objemového tváření, můžeme provádět za jakýchkoli teplot. Deformace nastává zpravidla ve všech třech osách souřadnicového systému.
 - Válcování provádíme na různorodě přizpůsobených stolicích o větším (20) či menším (minimálním-2) počtu válců. Pomocí válcování vyrábíme tzv. vývalky (kolejnice, tyče, trubky, plechy).
 - Kování provádíme za tepla za velkých změn tvarů těles malých až několika set tunových. Podstatou je provádění úderů nebo působení klidné síly.
 - Protlačování používáme pro výrobky zpravidla malých hmotností. Typickými výrobky jsou trubky či nábojnice.



Obr. 3 Mechanismus dvojčatění [5]

3 KOVÁNÍ [5] [8] [11] [12]

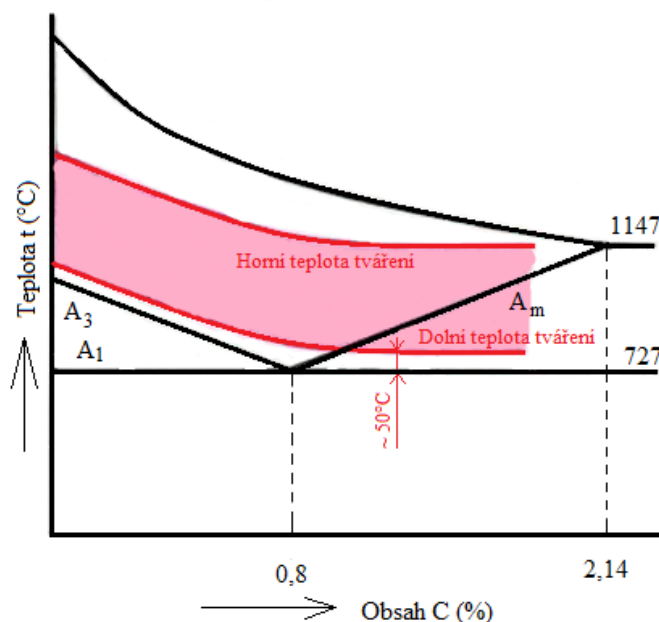
Kovářství se řadí mezi základní technologické postupy tváření ocelí i barevných kovů a jejich slitin. Některé typické výkovky jsou zobrazeny na obrázku 4. Převážná většina výroby je směřována k automobilovému průmyslu. Jedná se o přetržitý způsob objemového tváření za tepla, které je prováděno buď úderem bucharu, nebo klidně působící silou lisu. Výkovky, kromě požadovaných rozměrů, dosahují také lepších mechanických vlastností oproti klasickému obrábění. Strojním kováním dosahujeme vyšší produktivity výroby malých a středních výrobků také díky úspoře materiálu. Při zpracování těžkých odlitků (ingotů) odstraňujeme kováním nestejnorodou lící strukturu a metalurgické vady, které snižují tvárnost a zapříčiňují zhoršení mechanických vlastností.



Obr. 4 Příklady výkovků naležato (ojnice, třmeny, hlavy, držáky, vačky, apod.) [4]

Můžeme rozdělit dva druhy kováání a to sice ruční (volné), dnes používané převážně pro umělecké účely, a strojní kováání, které se dále dělí např. na volné, zápustkové, rotační či přesné (do uzavřených zápustek). Ovšem nejvýznamnějšími skupinami kováání jsou volné a zápustkové. Při volném kováání jsou používány kovačské nebo univerzální podložky, na kterých se materiál kove buď úderem, nebo tlakem. Při kováání zápustkovém se materiál taktéž tváří úderem nebo tlakem, avšak proces tváření je způsoben vtlačováním materiálu do tvarových kovových dutin zápustek. Ty bývají zpravidla dvoudílné s dutinou ve tvaru budoucího výkovku.

Pojem kováání je zpravidla spojován s tvářením za kováčských teplot (viz Obr. 5), ale řada procesů zápustkového kováání se uskutečňuje i za poloohřevu (polotepla), případně za studena. Ohřátý materiál vykazuje až desetkrát menší deformační odpory, což je výhodné z hlediska produktivity, energetické náročnosti i menšího opotřebení nástrojů. Při kováání za tepla, nad teplotou rekrytalizace, dochází k deformaci společně s uzdravováním materiálu (obnovou zrn a jejich struktury), což je dobré pro mechanické vlastnosti materiálu. Kování probíhá, za co nejvyšších teplot materiálu, při kterých se ještě nedosáhne kritického hrubnutí zrn, zbytečně velkého opalu, nebo dokonce spálení, které by vedlo k úplnému znehodnocení oceli. Tyto a další nepříznivé účinky můžeme ovlivnit také rychlostí ohřevu. Čím je vyšší, tím dojde k menšímu narušení vnitřních i vnějších jakostí materiálu. Nicméně u vyšších rychlostí ohřevu musíme dát pozor na tepelná prnutí, která musí být udržena v určitých mezích.



Obr. 5 Oblast tvářecích teplot pro uhlíkové oceli [10]

Existuje vícero druhů pecí pro ohřev materiálu. V některých kovárnách je stále používáno pecí plynových. Dalším, efektivnějším a rychlejším způsobem je ohřev elektrickou energií. Dle způsobu přeměny elektrické energie na teplo dělíme elektrotepelná zařízení na odporová a indukční. Používanějším způsobem je ohřev indukční, který způsobuje ohřev přímo ve vsázce. Ohřívací proudy vysokých hodnot se ve vsázce indukují střídavým magnetickým polem, které budí ohřívací cívka neboli induktor. Rychlost ohřevu je hlavní výhodou indukčních pecí.

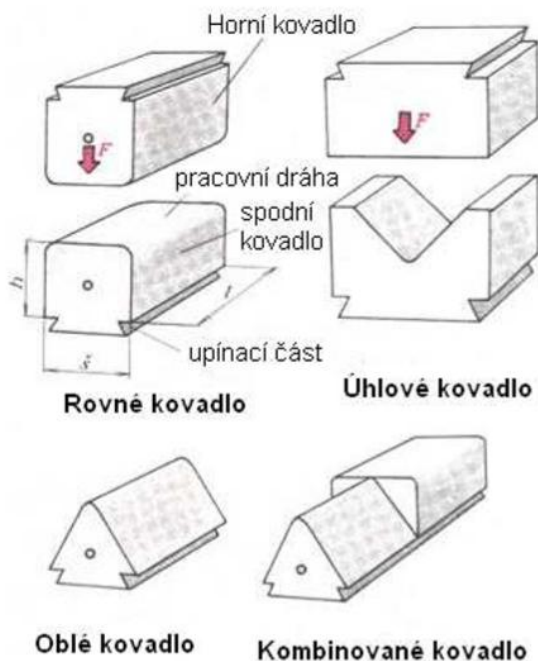
3.1 VOLNÉ KOVÁNÍ [5] [7] [8]

Volné kování se dělí na ruční a strojní. Ruční kování již v dnešní době nemá velký význam. Avšak stále nachází využití v zámečnictví a hlavně v uměleckém kovářství. Kováři využívají různé tvary kovadlin, kladiva, kleště a další nástroje (viz Obr. 6). Ohřev je při volném kování prováděn převážně v uhelné výhni, což způsobuje problémy, protože je nutné teplotu výkovku odhadovat. Barva, na kovací teplotu ohřáté konstrukční oceli, je oranžová (930 °C) až světle žlutá (1100°C), což jsou kovací teploty. Zbělá-li, přesáhla teplota 1200°C a materiál je znehodnocen.



Obr. 6 Nástroje pro ruční kování [6]

Strojní kování je tvářecí proces, při kterém dochází k přeměně tvaru materiálu rázem bucharu, nebo klidně působící silou lisu. Nástrojem jsou horní a spodní kovadla různých tvarů upevněná ke strojům rybinovitou částí. Pro kovadla se používá jednoduchých tvarů, jako např. kovadla rovinná, válcová, úhlová, i jejich kombinace (viz Obr. 7). Díry v čele slouží k manipulaci pomocí jeřábů. Abychom zvýšili životnost nástrojů, jsou jejich pracovní plochy kaleny.



Obr. 7 Typy kovadel [5]

Volné strojní kování se využívá především v kusové a malosériové výrobě. Běžné výkovky váží kilogramy až desítky tun. V extrémních případech je možno kovat až 350 tun vážící výkovky, což je při použití jiných technologií neúčelné, nebo nemožné. Strojní kování se používá pro úpravu výchozích polotovarů (předvalků či ingotů) pro zápusťkové kování, nebo pro výrobu tvarově jednoduchých prvků (tyče, hřídele, kostky, kroužky, desky). Povrch výkovků je nedokonalý, nerovný a hrubý, proto je nutné dále obrábět. Z důvodu obrábění se přidávají přídatky. Tření mezi nástrojem a výkovkem způsobuje soudečkovitost nebo vyboulení u delších součástí. Další vady vznikající při volném kování jsou odchylky rozměrů příčného průřezu, klínovitost, odchylky délek, vydutost či vypuklost příčného průřezu. Těmito nedokonalostmi se zabráňuje otáčením výkovku v průběhu kování, čímž se také zabrání různému stupni prokovaní v průřezu materiálu.

3. 1. 1 VOLBA VÝCHOZÍHO POLOTOVARU VOLNÉHO KOVÁNÍ [24]

Pro volné kování se jako polotovary používají sochory a ingoty. Tyto odlitky jsou zpravidla kruhového či obdélníkového průřezu. Jako odlitky s nerovnoměrnou a nesteroidnou krystalovou strukturou, nemají požadované mechanické vlastnosti, jaké jsou od výkovků požadovány. Proto je u volného kování nutné věnovat pozornost stupni prokování. Prokováním se totiž rozruší lící struktura ingotu či sochory. Je dosaženo lepších fyzikálních i mechanických vlastností, jež jsou pro daný výrobek požadovány konstruktérem. Prokování se volí tím větší, čím větší je teplota ohřevu. Stupeň prokování je třeba zvolit tak, aby nedošlo k překováním materiálu, což by vedlo ke značnému zhoršení jakosti. Stupeň prokování se dá určit vícero způsoby.

1. Poměrem průřezové plochy ingotu k průřezové ploše výkovku, nebo poměrem jejich délek.
2. U kování do délky se stupeň prokování určí poměrem střední průřezové plochy hrubého ingotu a plochy hotového výkovku.
3. Pro výkovky s rovnoměrným průřezem (kvadrát, kruh, mnohoúhelník) lze použít poměr délky ingotu k délce výkovku.
4. Je-li kováno kombinací více postupů, určuje se stupeň prokování součinem jednotlivých stupňů z bodů 1, 2 a 3.

Volba správné velikosti polotovaru (jeho váhy) je nejdůležitější činitel konečné jakosti výkovku. Pro kování výkovku s vysokými požadavky na čistotu a mechanické vlastnosti se volí ingot tak, aby ideálně vystačil pro daný výkovek a jeho prokování bylo dostatečné. Pro prokování je důležité určení průřezu.

- Při možnosti volit válcovaný materiál je potřebná váha výchozího polotovaru určena následovně:

$$G_{\text{výchozí}} = G_{\text{výkovku}} + G_{\text{odseků}} + G_{\text{opalu}} \quad (3.1)$$

kde: G_{\dots} váhy výchozí, výkovku, odseků,
opalu, dle indexu [kg]

Velikost plochy takového materiálu se zvolí tak, aby stupeň prokování byl minimálně 1,3 až 1,5.

- Je-li výchozí materiál ingot, jeho potřebná váha je minimálně:

$$G_{\text{ingotu}} = G_{\text{výkovku}} + G_{\text{odseky}} + G_{\text{opal}} + G_{\text{hlava}} + G_{\text{pata}} \quad (3.2)$$

kde: G_{\dots} váhy ingotu, výkovku, odseků,
opalu, hlavy, paty dle indexu [kg]

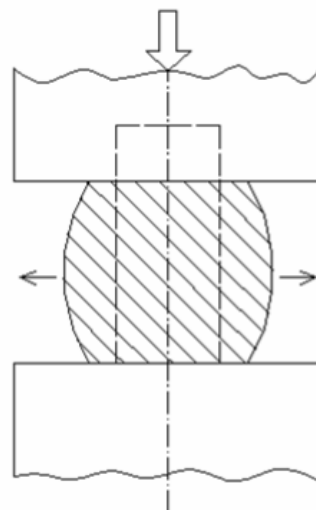
Zvolí se nejbližší těžší ingot, který je k dispozici. Velikosti odpadu od hlavy a paty jsou závislé na podmínkách při lití a tvaru kokily. Odpad od hlavy bývá 14 až 25%, odpad od paty 4 až 7% z váhy ingotu.

Váha opalu je pro obě varianty stanovena podle počtu ohřevů. U prvního ohřevu se obvykle uvažuje 2%, pro další přehřevy 1,5% z ohřívané váhy. Přesnější hodnoty lze získat při vážení během kování.

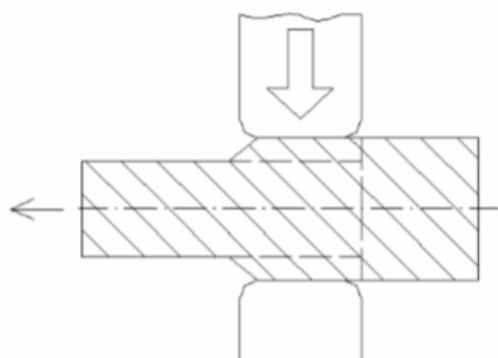
Váhy odseků jsou dány technologickým postupem. Určují se dle zkušeností, či výpočtem. Jejich hodnoty jsou nižší pro lisy, vyšší pro buchary.

3. 1. 2 PROCESY VOLNÉHO KOVÁNÍ [5] [14]

Základními procesy volného kování jsou pěchování, prodlužování, osazování, ohýbání a sekání. Pěchování (viz Obr.8) je energeticky nejnáročnější operací, při které dochází k plastické deformaci mezi dvěma plochými, či tvarovými čelistmi. Princip tohoto procesu spočívá ve stlačování polotovaru ve směru jeho osy, kdy se průřez rozšiřuje na úkor délky. Délka pěchovaného materiálu by neměla překročit dvou a půl násobek její šířky, jinak by mohlo dojít k jeho prohnutí. Je důležité, aby byl tvarovaný materiál nahřán rovnoměrně naskrz celým objemem. Používá se jako



Obr. 8 Pěchování [9]

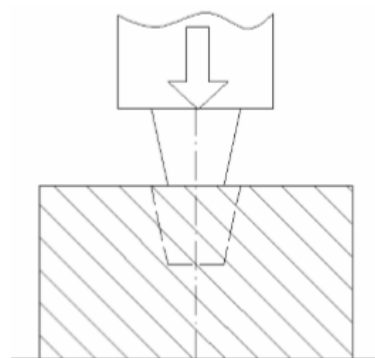


Obr. 9 Prodlužování [9]

přímá operace kování plochých, či rotačních výkovků (kotoučů, přírub). Další zmíněnou

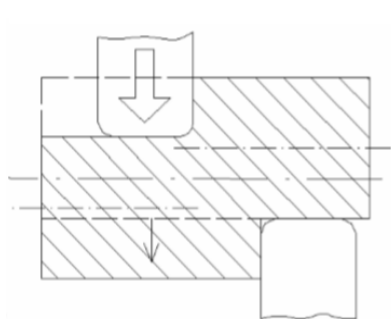
operací je prodlužování (viz Obr. 9), nejčastěji používaná metoda volného kování. Provedením více prodlužovacích operací v těsné blízkosti dochází ke zmenšení příčného průřezu při současném

prodloužení polotovaru. Otáčením materiálu se předchází jeho jednostrannému rozšiřování. Při děrování se kuželový trn vtlačuje do poloviny výšky výkovku (viz Obr. 10), který se pak otočí a z druhé strany je opět za pomoci trnu vyrobena díra. (Tváří se také díry neprůchozí.) Otvory do průměru 400mm se děrují plným trnem. Díry větších průměrů trnem dutým.

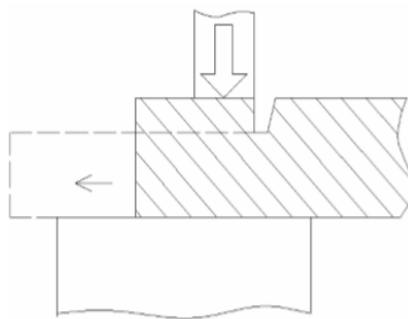


Obr. 10 Děrování [9]

Osazování (viz Obr. 12) a přesazování (viz Obr. 11) je prováděno jednostranně, nebo oboustranně. Zmenšuje se průřez u osazených hřídelů nebo přemísťuje průřez při zachování paralelních os. Označí se místo změny průřezu nebo přemístění a příložkou se udělá zářez. Přesazení se vykonává vyznačením dvou míst na protilehlých stranách výkovku.



Obr. 11 Přesazování [9]



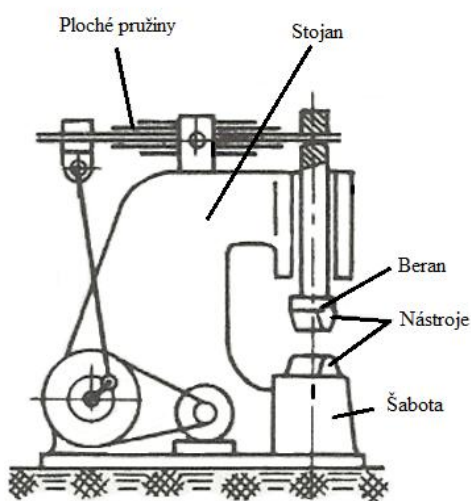
Obr. 12 Osazování [9]

Dále lze vykovat zalomení a to sice dvojím přesazením. Při ohýbání se zakřivuje podélná osa výkovku. V místě ohybu se výkovky na vnitřní straně vlákna stlačují a na straně vnější dochází k jejich natahování (při překročení mezní velikosti deformace zde může dojít k vzniku trhliny). Aby nedošlo k zeslabení materiálu, musí mít

polotovaru v místě ohybu větší průřez.

3. 1. 3 STROJE PRO VOLNÉ KOVÁNÍ [15] [17] [19]

Pro volné kování se využívají buchary (pružinové, kompresorové a parovzdušné), nebo hydraulické lisy. Buchary se řadí mezi tvářecí stroje, jež působí na výkovek dynamickou, nárazovou silou nástroje. Zpravidla se provede několik úderů po sobě, přičemž stoupá energie a deformační dráha se zkracuje. Vliv na produkci výkovků volně kovaných na bucharech mají zejména rychlost smykadla a větší úderová práce v porovnání s hydraulickými lisami. Nevýhodami jsou vyšší rizikovitost úrazu obsluhy při práci a otřesy způsobené bucharem. Hydraulické lisy jsou charakteristické maximálními silami, jejichž velikost udává tlak kapaliny v pohonu. Ten také zamezuje přetížení lisu. Oproti bucharu mají lisy výhodu plynulé regulace rychlosti, velikosti pracovního zdvihu a možnost nastavit rychlost beranu. Nevýhodou je nižší účinnost a složitější údržba.



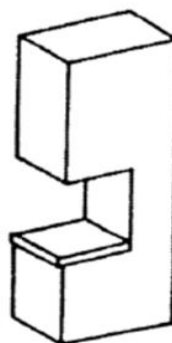
Obr. 13 Schéma pružinového bucharu [16]

tlumený ocelobetonový kvádr. Slouží k tlumení rázů od stroje. Nejvýhodnější a nejúčinnější tlumení základu zajišťují pružiny. Hlavní výhodou je malé šíření chvění a otřesů do okolí, což přispívá k životnosti a menší poruchovitosti samotného stroje. Menším chvěním se také zlepšují pracovní podmínky dělníků a bezpečnost práce.

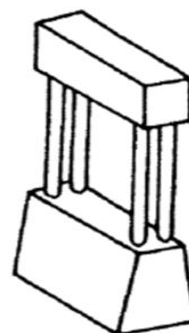
- Dopadová rychlost beranu rozděluje buchary na buchary pracující běžnou kovací rychlostí 4 až 8 [m.s⁻¹] a na vysokorychlostní buchary pracující s rychlostmi 20 až 60 [m.s⁻¹].
- Podle způsobu práce se buchary dělí na jednočinné a dvojčinné. Jednočinné buchary využívají pouze kinetickou energii pohyblivého padajícího beranu s nástrojem.
- Další dělení bucharů je podle typu šaboty, která může být nepohyblivá, odpružená nebo je nahrazena spodním beranem na protiúderovém bucharu.
- Stojan stroje slouží k uchycení dalších mechanismů. Jsou vyráběny jedno stojanové, a dvoustojanové, které mohou být buď otevřené, nebo rámové. Nejčastěji používaný (na bucharech kompresorových a pružinových) je otevřený jedno stojanový typ, jež má tvar písmene C (viz Obr. 14). Dvoustojanový (viz Obr. 15) se užívá pro volné kování u bucharů parovzdušných.

Buchary jsou stroje, u nichž se deformační práce, nazývaná rázová, nebo úderová, získává přeměnou z kinetické energie nahromaděné v padacích částech stroje. Tato práce, kterou vykoná buchar při jednom nejsilnějším úderu, udává velikost a pracovní schopnost bucharu. Pracovní části bucharů spojené s nástrojem jsou poháněny stlačeným vzduchem, parou, plynem, kapalinou nebo pružinou. Deformace výkovku nastává při nejvyšší rychlosti beranu a na konci přetvoření je jeho rychlost nulová. Deformace jednoho úderu trvá jen několik tisícín sekundy. Hlavními částmi bucharů jsou: stojan s beranem, šabota

(případně druhý beran) a základ, což je vidět na obrázku 13. Základ stroje je



Obr. 14 otevřený jedno stojan [15]



Obr. 15 Rámový dvoustojan [15]



Obr. 16 Hydraulický lis, Pilsen Steel, Plzeň [18]

Hydraulické lisy jsou pro volné kování nejčastěji užívanými stroji. Příklad můžeme vidět na obrázku 16. Je možné na nich kovat výkovky vážící až 350 tun. Využívají Pascalova zákona, který říká, že tlak vyvolaný vnější silou, která působí na kapalinu v uzavřené nádobě, je ve všech místech kapaliny stejný. Síla působící na píst malého průměru, způsobí velkou sílu na pístu průměru většího. Podle konstrukce a pohonu se hydraulické lisy pro volné kování rozdělují do několika skupin. Hornotlaké a dolůtažné se oba dále dělí na dvousloupové a čtyřsloupové. Pohon je buď centrální, nebo výhodněji (za vyšší cenu) umístěn přímo v lisu.

Hydraulické lisy mají složitou konstrukci sestávající ze spousty součástí (viz Obr. 17). Mezi základní z nich patří stojany, smykadla (berany), generátory, hydromotory, akumulátory, ventily, rozvaděče,

multiplikátory, čističe, chladiče a nádrže.

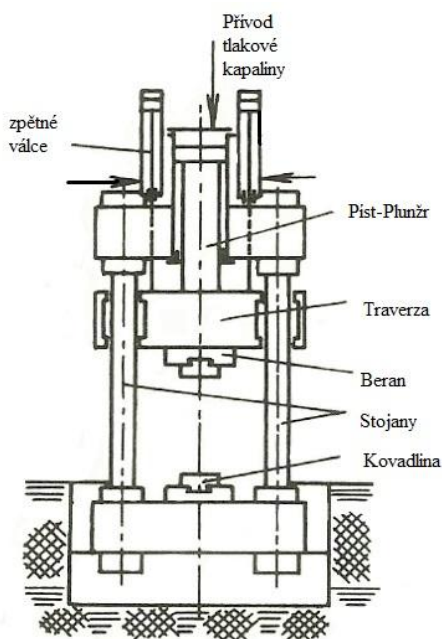
Stojany rámové otevřené jsou nejčastěji podobné tvaru písmena C, což umožňuje přístup k pracovní ploše lisu ze tří stran. Nevýhoda rámu je malá tuhost konstrukce. Vyrábí se buď jako jeden odlitek, nebo svařek z více kusů u větších strojů, u kterých jsou součásti staženy spojovacími kotvami. Používanější variantou pro volné kování jsou stojany sloupové, složené z horního a dolního příčnicku (odlitek / svařek). Ty jsou spojeny pomocí sloupů a utváří základní konstrukci lisu. Stejně jako stojan rámový má i stojan sloupový dobrou přístupnost k pracovní ploše, ale je navíc tužší, při menší hmotnosti. Hladké sloupy strojů jsou používány k vedení pohyblivého se smykadla. Do průměru 800 mm se vyrábí plné, nad tento průměr duté aby se uspořila hmotnost i materiál.

Smykadla, též berany, jsou části stroje, na které se upevňuje pracovní nástroj do drážky tvaru T a slouží k přenosu síly z pracovního válce na kovaný materiál. Vyrábějí se jako jeden odlitek, nebo jsou svařovány z více částí. Tvar a rozměr smykadla je přizpůsoben rozvržení horního příčnicku. V příčnicku je píst, jenž je spojen se smykadlem pevnou, nebo kloubovou vazbou. Lisy s jedním pístem mívají spojení pevné. U více pístových lisů se vyplácí vazba kloubová, nebo kombinovaná z důvodu větší životnosti těsnění a menších nároků na souosost pístů.

Generátor hydraulického lisu dodává do systému potřebný průtok kapaliny, tlakovou energii a také kinetickou energii potřebnou pro dopravu kapaliny potrubím.

Hydromotor je hydraulický prvek sloužící k převodu energie ze sloupce kapaliny na pevnou část. U lisů je nejčastěji používán hydromotor s přímočarým pohybem.

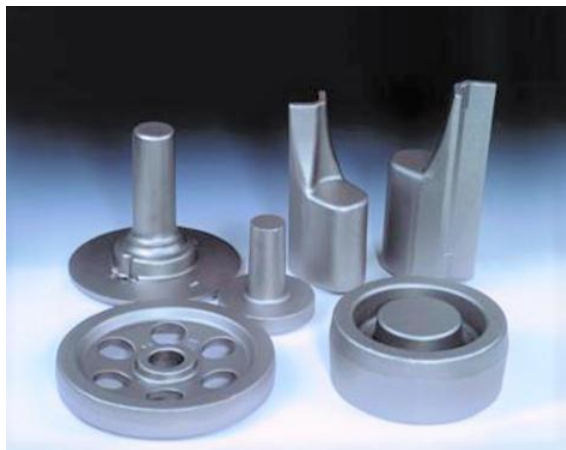
Akumulátor slouží k akumulaci tlakové energie uchováním kapaliny pod vyšším tlakem než je tlak atmosférický.



Obr. 17 Schéma lisu [16]

3. 2 ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ [5] [11] [21] [24]

Zápustkové kování se vyznačuje vysokou výkonností a snadnou obsluhou. Na bucharech či lisecích jsou vyráběny součásti výrazně vyšší přesnosti než u kování volného. Slouží především k velkosériové výrobě stejných součástí. Zápustkové kování se využívá pro výrobu součástí do dopravních prostředků, kolejových vozidel, letadel, zemědělských strojů, obráběcích či textilních strojů, jednoduše všude tam, kde je potřeba mnoho stejných součástí (hřídele, šrouby, ložiskové kroužky, ozubená kola a další na obrázku 18).

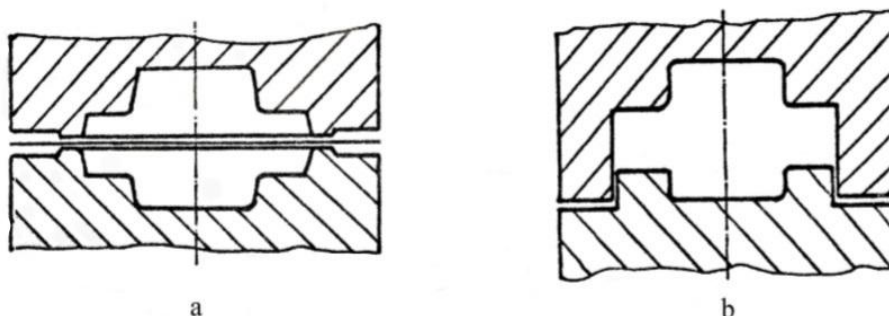


Obr. 18 Zápustkové výkovky [13]

(viz Obr. 19a) a bezvýronkové, jenž probíhá v dutině uzavřené (viz Obr. 19b). V případě kování s výronkovou drážkou vzniká nevýhoda v podobě odpadního materiálu, který podle tvarové složitosti dosahuje 8-30% hmotnosti výkovku. Nicméně tato nevýhoda je zcela převážena příznivými vlivy drážky na průběh kování. Např.:

- Odpor proti vytékání kovu do zápustkové dutiny způsobuje vyvolání příznivých stavů napjatosti, které podporují dokonalé zaplnění dutiny materiálem.
- Drážka způsobuje vyrovnání jednak objemových rozdílů polotovaru a dutiny zápustky, ale také těch, které vznikají následkem opotřebení dutiny zápustky.
- Při značném zatížení nástrojů při kování na bucharech přispívá drážka k tlumení rázů při vzájemném dosednutí horní a dolní zápustky.

Kováním v uzavřených zápustkách sice odpadají přebytečné materiálové ztráty i jejich odstraňování (při použití vyhazovače je možno snížit úkosity téměř na nulu), nicméně tato metoda je značně technologicky náročná z pohledu nutnosti objemově velmi přesného polotovaru a dalších procesních vlivů (konstantní teplota polotovarů, konstantní tribologické podmínky, apod.). Oproti tomu má zápustkové kování v uzavřené zápustce výhodu v použití menší kovací síly o 30 až 40% a v lepších mechanických vlastnostech.

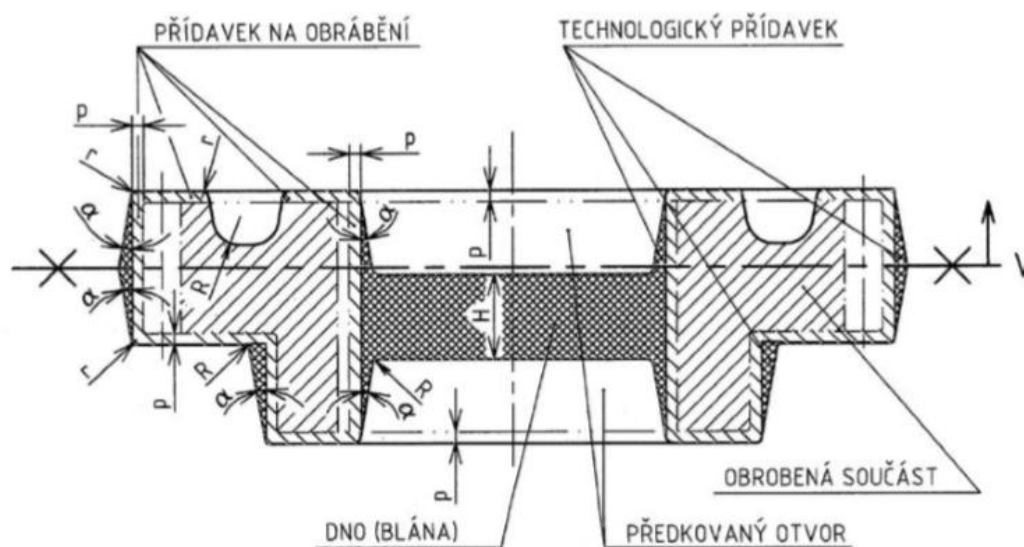


Obr. 19 Zápustka otevřená (a) a uzavřená (b) [21]

3. 2. 1 KONSTRUKCE ZÁPUSTKOVÉHO VÝKOVKU [20] [25]

Návrh výkovku je základní součástí procesu kování. Odvíjí se od něj konstrukce zápustky, volba polotovaru i následná volba stroje. Výkres výkovku je tvořen na základě výkresu součásti, dle několika zásad. V první řadě se volí dělicí rovina, následně přídatky na obrábění, technologické přídatky a mezní úchytky rozměrů a tvarů.

- ✓ Dělicí rovina (označená jako „V“ na obrázku 20) je zpravidla volena na největších vzájemně kolmých rozměrech výkovku. Může být přímá, souměrně lomená u jednoduchých, či nesouměrně lomená a šikmá u složitějších výkovků. Volí se především z hlediska snadného vyjímání výkovku ze zápustky a dokonalého ostřížení výrobku. Dělicí rovina ovlivňuje i průběh tzv. vláken ve výkovku a tím i jeho mechanické vlastnosti.



Obr. 20 Zobrazení přídatků na náčrtu výkresu součásti [20]

- ✓ Přídatky zvětšují jmenovité rozměry a jsou voleny tak, aby měla hotová součást požadovaný povrch a předepsané tolerance rozměrů. Rozlišujeme přídatky technologické a přídatky na obrábění.
 - Přídatky na obrábění jsou nutné především v místech budoucích funkčních ploch. Jsou pro všechny rozměry výkovku stejné. Určují se vzhledem k největšímu rozměru hotového výrobku ve směru kolmo k rázu. Dále podle největší výšky hotového výkovku. K jejich odstranění se používá třískového obrábění.
 - Přídatky technologické upravují tvar výkovku tak, aby byl vhodný pro zhotovení danou technologií. Dochází díky nim k celistvému vyplnění dutiny zápustky a snadnému vyjímání výkovku z dutiny. Jsou jimi (viz Obr. 20)
 - boční úkopy
 - zaoblení hran a přechodů
 - zesílení tloušťky stěny výkovku
 - zesílení tloušťky dna výkovku
- ✓ Do mezních úchytek rozměrů jsou zahrnuty např.: přesazení, otřep, prohnutí a úkopy. Mezní úchytky se společně s tolerancemi rozměrů výkovků stanovují podle stupně přesnosti výkovku. Ten je určen z největších rozměrů výkovku ve směru rázu a směru kolmo k rázu podle oborového číselníku výrobků a podle složitosti tvaru dle ČSN 42 9002.

3. 2. 2 STROJE PRO ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ [17] [19]

Pro zápusťkové kování se používají buchary (padací, dvojčinné, protiběžné) a lisy. Rázový charakter bucharů přispívá k uvolňování okují z povrchu tvářeného výkovku a usměrňuje tečení kovu do horní zápusťky. Buchary jsou nejpoužívanější stroje pro zápusťkové kování malých a středních sérií výkovků.

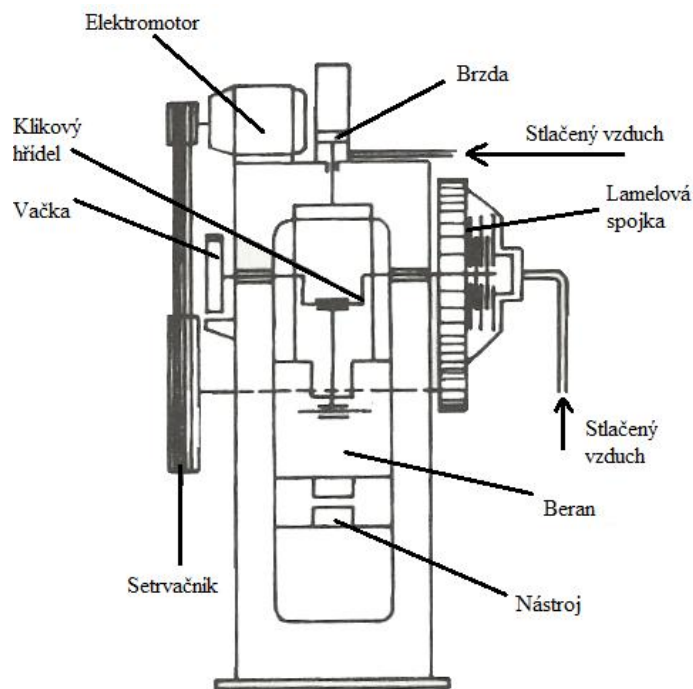
Protiběžné kování (viz Obr. 21) je charakteristické přímočarým pohybem obou beranů proti sobě. Někdy se nazývají protiúderové. Existuje několik druhů mechanismů s: mechanickou pásovou vazbou, hydraulickou vazbou, mechanickou pákovou vazbou. Protiběžné kování se užívá pro výrobu komplikovaných výrobků. Díky vysokým tvárným rychlostem zaručují velkou přesnost.

Princip padacích bucharů spočívá ve zvednutí horního beranu s nástrojem do určité výšky, kde je uvolněna vlastní tíhou padá na tvářený materiál. Používá se zvedání pomocí řemene, řetězu, desky, ale také hydraulicky či pneumaticky. Výhodami padacích bucharů jsou jednoduchá konstrukce a pohánění beranu pouze do horní polohy.

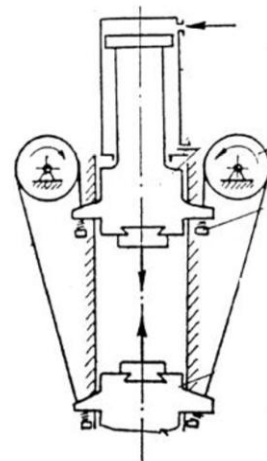
Dvojčinné buchary nepřetváří materiál pouze kinetickou energií padajícího nástroje, nýbrž i silou vyvozenou pohonem stroje. Při stejné hmotnosti i zdvihu stroje lze tedy dvojčinným buchem vyvolat větší energie než padacím.

Lisy používané pro zápusťkové kování jsou rozdělené na klikové (svislé a vodorovné) a vřetenové. Oproti kování na bucharcích, se na lisích dosahuje přesnějších výkovků.

Na svislém klikovém lisu (viz Obr. 22) je kováno na maximálně dvě předkovací, a jednu dokončovací operaci. Na každý zdvih se kove v jiné zápusťkové dutině. Zpravidla, se tyto lisy konstruují s vyhazovačem, což dovoluje zmenšit jak technologickou náročnost zápusťky, tak úkosy.



Obr. 22 Schéma klikového kovacího lisu [16]



Obr. 21 Schéma protiběžného bucharu [15]

Vodorovné klikové kovací lisy jsou stroje s vysokým počtem zdvihů, zpravidla dvojčinné. Vyznačují se svými zápusťkami, které jsou otevírány ve dvou vzájemně kolmých rovinách. Většinou se kove v zápusťkách uzavřených. Jsou využívány na kování dlouhých výkovků s hlavami, kdy stačí zahřát jen část materiálu, která se bude kovat.

Vřetenový mechanismus svou nízkou pracovní rychlostí připomíná lisy klikové, nicméně úplným vyčerpáním kinetické energie setrvačnicku při každém úderu se podobá bucharům. Vřetenové lisy se používají pro malosériové kování menších, či středně velkých, málo členitých výkovků z barevných kovů. Postup kování se navrhuje tak, aby bylo možno kovat v jedné zápusťce.

3. 2. 3 POSTUP ZÁPUSTKOVÉHO KOVÁNÍ [17][19]

Po úspěšné konstrukci výkresu zápusťkového výkovku (na základě daných náležitostí) se rozhoduje o počtu kovacíh operací. Ten se volí podle velikosti a složitosti výkovku, ale také podle velikosti dané série. U složitých výkovků se volí více operační proces, ke kterému je potřeba náležitý počet dutin v zápusťce. Konkrétní proces každé přípravné dutiny je určen podle objemu přemísťovaného materiálu a složitosti jeho toku při kování. Výroba zápusťky záleží také na objemu výkovku (již zvětšeného o příslušné přídavky), podle kterého volíme i výchozí polotovar.

Posledním krokem před samotným kovááním (předkovááním) je ohřev materiálu, prováděný v pecích. Ve většině případů se používá ohřev elektrický. Odporové pece jsou vhodné pro barevné kovy a pece indukční jsou využívány pro sériovou výrobu.

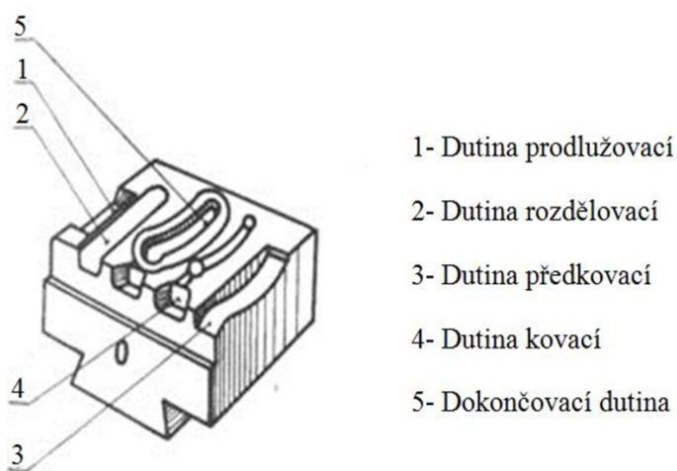
Předkováání volným kovááním se používá zejména při následném jednozdvihovém kováání, pro menší série výkovků, kdy by se finančně nevyplatilo vyrobít předkovací zápusťku.

Předkováání v přípravných postupových zápusťkách lze podle technologického užití rozdělit na tvarovací, ohýbací, prodlužovací, zužovací, otevřené rozdělovací (pomocí utínky), nebo pro otáčivé kováání. Příklad takovéto postupové zápusťky můžeme vidět na obrázku 23. Polotovar je přesouván z jedné dutiny do druhé pomocí kleští, nebo strojových manipulátorů či robotů. Vyžaduje-li to výkovek, pak se také otáčí kolem své osy. Zpravidla se používají válcové předkovky z tyčových polotovarů, které se většinou dělí řezáním, stříháním, nebo lámáním.

Pro kováání (i předkováání) je nutné propočítat potřebné síly a podle nich určit velikost bucharu či sílu lisu. Trvanlivost zápusťek lze zvýšit jejich předehevem, mazáním ale i chlazením při dlouhém styku zápusťky s kovaným materiálem. Předehev (na 200-300°C) je nutný pro zvýšení houževnatosti zápusťky, jinak by mohla prasknout. Mazáním se sníží tření na zápusťce, deformační odpor i síla a práce stroje.

V drtivé většině případů je nutné zápusťkový výkovek dále zpracovat.

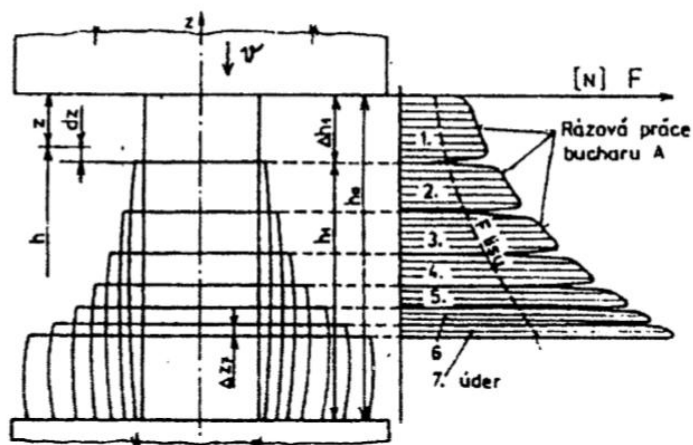
- Při použití otevřených zápusťek s výronkovou drážkou je po dokončení kováání nutné ostříhnout výronek, případně odstranit blánu v předkovaném otvoru. Tyto dvě operace probíhají za tepla, nebo zřídka i za studena pro výkovky s obsahem uhlíku do 0,5 %.
- Rovnání výkovků se provádí v dokončovací zápusťkové dutině, došlo-li k jeho zkřivení při vyjímání nebo ostříhování. Nejlepším způsobem zpřesnění rozměrů výkovku je kalibrace. Pomocí ní se výrazně zlepšuje povrchová jakost, což může nahradit následné obrábění.



Obr. 23 Postupová zápusťka [5]

3. 2. 4 KOVACÍ SÍLA A PRÁCE [4] [9][11]

Buchary jsou charakterizovány svou nárazovou prací. U lisů je důležitá maximální vyvinutelná síla. Práce bucharu a síla lisu jsou vzájemně provázány. Křivka průběhu přetvárné práce je integrační křivkou průběhu přetvárné síly. Grafické znázornění těchto křivek jde vidět na obrázku 24.



Obr. 24 Křivky průběhu kovací síly a přetvárné práce [2]

Kov za vysokých teplot účinkem rázu bucharu, nebo účinkem tlaku lisu postupně zaplňuje dutinu zápustky. V poslední fázi, při dokování finálního tvaru, zaplňuje kov

výronkovou drážku. Popsat jednoduše matematicky zatížení zápustky a získat deformační odpor je nesnadné z důvodu nehomogenní napjatosti a deformace. Existují metody zjednodušených úvah o rozložení napětí ve výkovku v poslední fázi kování. Ty jsou založeny na přechování a protlačování modelů. Vychází z celkových rozměrů a tvaru výkovku a využívá řady zjednodušení vyjádřených empiricky. Hlavními faktory ovlivňujícími kovací síly jsou: hmotnost, tvar a rozměry výkovku, rozměry výronku, poměry tření mezi dutinou zápustky a kovaným materiálem a přirozený přetvárný odpor kovu za kovacích teplot.

- ❖ Výpočet kovací síly podle Tomlenova a ČSN 2283 06 vychází z deformačních odporů na průřezu rotačně symetrického výkovku a je součtem normálové a tečné síly působící na kovaný polotovár.

Deformační odpory jsou počítány pro jednotlivé řezy podle vztahů

$$\sigma_{d0} = (1 + 0,73 * f) * \sigma_p^* \quad (3.3)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{d1} &= \sigma_{d0} + \sigma_p^* \frac{\Delta r_1}{z_1} \\ \sigma_{d2} &= \sigma_{d1} + \sigma_p^* \frac{\Delta r_2}{z_2} \\ \sigma_{d3} &= \sigma_{d2} + \sigma_p^* \frac{\Delta r_3}{z_3} \end{aligned} \quad (3.4)$$

až

$$\sigma_{dn} = \sigma_{d(n-1)} + \sigma_p^* \frac{\Delta r_n}{z_n}$$

kde: σ_d ... deformační odpor [MPa]

f... součinitel tření nabývající hodnot 0,35 až 0,45 [-]

r... poloměr [cm] (viz Obr. 25)

z... výška výkovku daného průřezu [mm] (viz Obr. 25)

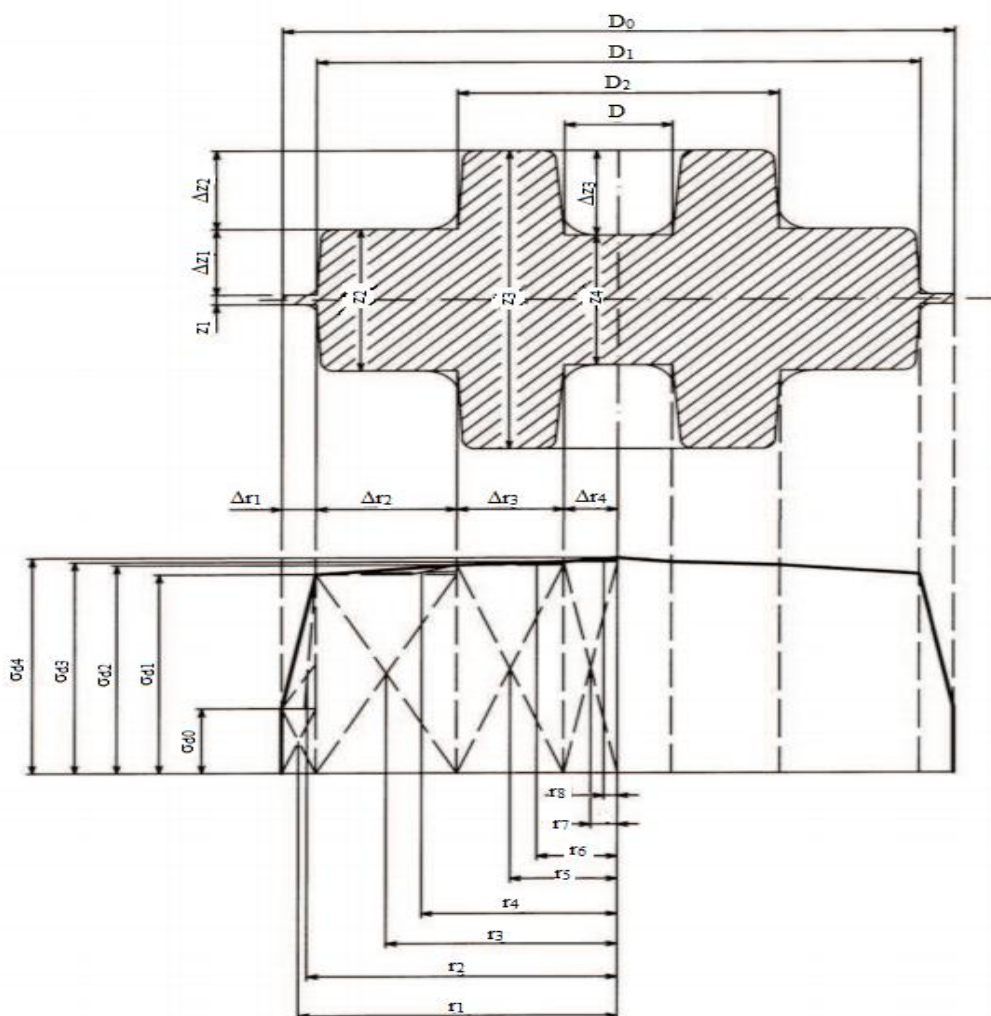
σ_p^* ... přirozený přetvárný odpor s vlivem poklesu teploty ve výronku [MPa]

$$\sigma_p^* = \sigma_p * C_o \quad (3.5)$$

kde: C_o ... souhrnný koeficient [-]

σ_p ... přetvárný odpor [MPa]

Výsledné hodnoty jsou dále vyneseny do grafu pod geometrickým modelem, jak je vidět na obrázku 25.



Obr. 25 Geometrický výpočtový model dle Tomlenova [26]

- Normálová složka kovací síly F_n [MPa], která působí ve směru pohybu zápustky je dána integrací průběhu deformačního odporu na ploše půdorysu výkovku.

$$F_n = \int_S \sigma_d \cdot dS = 2\pi \int_0^{\frac{D}{2}} \sigma_d \cdot r \cdot dr = 2\pi \sum_{j=1}^n S_j \cdot r_j \quad (3.6)$$

Pro výpočet normálové složky síly musíme znát dílčí plochy S_j [cm^2] v úsecích Δr_j pod čarou deformačních odporů.

$$S_j = \frac{1}{2} \cdot (\sigma_{j-1} + \sigma_j) \cdot \Delta r_j \quad (3.7)$$

- Tečná složka kovací síly vzniklá smykovým napětím.

$$F_T = \sum_{j=1}^n \tau_{\text{ff}} \cdot \pi \cdot D_j \cdot \Delta z_j = \pi \cdot f \cdot \sigma_p \sum_{j=1}^n D_j \cdot \Delta z_j \quad (3.8)$$

kde: F_T ... tečná složka síly [N]
 D ... průměr [mm] (viz Obr. 25)
 $\tau_{fj} = f * \sigma_p$... smyková napětí
na bočních stěnách výkovku (3.9)

Celková síla potřebná k vykování F_C [N]:

$$F_C = F_n + F_T \quad (3.10)$$

❖ Výpočet velikosti beranu bucharu je v přímé souvislosti s velikostí práce A posledního úderu. Na poslední úder je totiž odpor tvářeného materiálu k přetvoření nejvyšší. Podle ČSN 22 83 08 se práce počítá zvlášť pro kruhové a nekruhové výkovky.

➤ Pro výpočet práce potřebné pro kruhový výkovek platí

$$A = 18(1 - 0,005 * D_D)(1,1 + \frac{2}{D_D})^2 * (0,75 + 0,001 * D_D^2) D_D * \sigma_p \quad (3.11)$$

kde: A ... práce posledního úderu bucharu [J]
 D_D ... menší než 60cm - průměr výkovku [cm] (viz Obr. 25)

➤ Pro výpočet práce nekruhového výkovku se nejprve musí spočítat zredukovaný průměr výkovku D_{DR} , který se následně dosadí namísto průměru D_D do rovnice 3.9.

$$D_{DR} = 1,13 * \sqrt{F_D} \quad (3.12)$$

kde: D_{DR} ... redukovaný průměr výkovku [cm]
 F_D ... průmět plochy výkovku na ploše kolmé k směru rázu [cm^2]

Vypočtený redukovaný průměr se spolu s prací dosadí do rovnice pro výpočet práce rázu pro nerotační výkovek.

$$A_n = A * (1 + 0,1 * \sqrt{\frac{L_D}{B_{Ds}}}) \quad (3.13)$$

kde: A_n ... práce posledního úderu bucharu
pro nerotační výkovek [J]
 L_D ... délka výkovku [cm]
 $B_D = F_D / L_D$... střední šířka výkovku [cm]

Dále se hmotnost beranu bucharu počítá stejně pro oba typy výkovků. Odlišné jsou váhy beranu pro jednočinné a dvojčinné stroje.

➤ Pro jednočinný buchar se hmotnost beranu vypočítá podle rovnice:

$$m = A / 1,1 \quad (3.14)$$

kde: m ... hmotnost beranu [kg]

➤ Pro dvojčinný buchar se hmotnost beranu vypočítá podle rovnice:

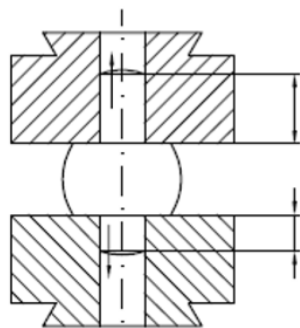
$$m = A / k \quad (3.15)$$

kde: k ... koeficient nabývající hodnot 1,8 až 2,8 [-]

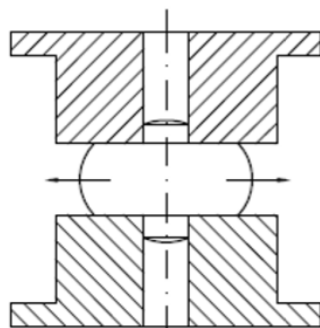
Podle výsledné hodnoty hmotnosti beranu se z dostupných zvolí beran s hmotností nejvíce se blížící hodnotě vypočítané. V případě beranu o vyšší hmotnosti dochází k přetížení stroje i zápusťky, což vede k nižší životnosti. Naopak při volbě beranu lehčího, než je vypočítaná hodnota, dochází k ekonomickým ztrátám během výroby a kvůli tvrdým rázům je i provozně nebezpečný.

3. 2. 5 VOLBA STROJE [8] [11] [17] [24]

Volba tvářecího stroje a také rozsah předběžného předkování jsou určovány především rozdílností ve způsobu zatékání materiálu do zápustky při použití bucharu a lisu. Buchar působící na budoucí výkovek rázem beranu způsobuje větší rychlost tečení materiálu dutinou zápustky a snadnější plnění dutiny ve směru rázu. Je tedy vhodnější pro vysoké výkovky.



a) buchar



b) lis

Obr. 26 Směry tečení materiálu [23]

Naopak lis působící klidnou silou je vhodný z hlediska lepšího tečení kovu ve směru kolmém na osu působící síly nástroje. Mimo to je u bucharu dutina horní části zápustky zaplňována lépe než spodní, což je způsobeno setrvačnými silami ve tvářeném materiálu. Schematicky je vidět rozdíl v tečení materiálu na obrázku 26.

Dokončení výkovku je dalším rozdílem mezi použitím bucharu a lisu. Na mechanickém lisu se kove v jedné dutině na jeden zdvih. Výška hotového výkovku je dána konstantní výškou dolní úvrati beranu lisu. Právě proto, že se zápustka lisu dotýká materiálu pouze jednou, je zápustka méně opotřebovávána. Nicméně v důsledku malé rychlosti dochází ke špatnému opadávání okují, které mohou být i zakovány do materiálu, což jej znehodnocuje. Oproti tomu na bucharu je většinou použito zdvihů několik, než na sebe zápustky dosednou (za příznačného „cinknutí“) a výkovek je hotov. Rázem bucharu okuje mnohem snadněji opadají. Přesnějších výkovků je dosaženo na mechanickém lisu.

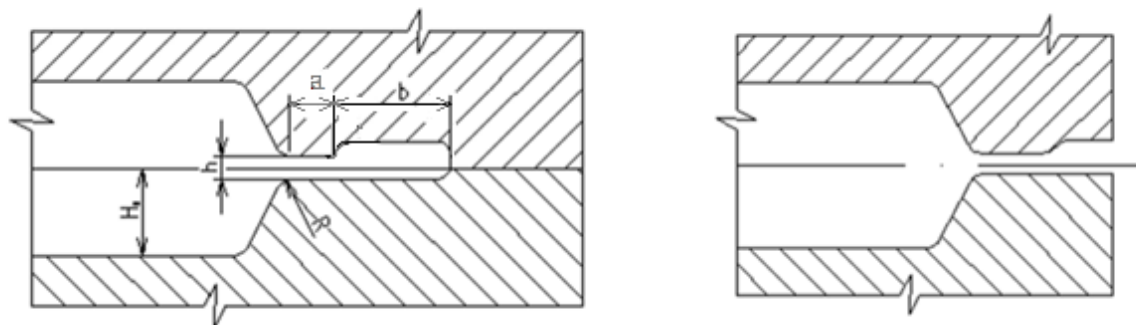
Nezanedbatelné je hledisko výrobních nákladů. To je ovlivňováno především rychlostí, s jakou jsou výkovky kovány (počet výkovků za čas), podílem ceny nástroje na jeden výkovek, dále taky sériovostí výkovku. Oproti bucharům mají mechanické lisy až třikrát vyšší výkonnost, nejsou u nich potřeba tak velké základy a práce na nich je méně náročná z pohledu kvalifikace i fyzické zdatnosti obsluhy. Pořizovací cena lisů i zápustek na ně je vyšší, proto je jejich užití pro zápustkové kování výhodné až při hromadné či velkosériové výrobě.

3. 2. 6 KONSTRUKCE ZÁPUSTKY PRO LISY A BUCHARY [11] [22] [24]

Zápustky jsou nástroje sloužící ke kování přesnějších výkovků. Jsou složeny z horní a dolní části. Ty jsou odděleny dělicí rovinou. Rozměry dutiny určují především rozměry výkovku včetně výronku. Vnější rozměry se odvíjí od rozměrů dutiny samotné, ale také od možností upnutí zápustky na stroj, maximální vzdálenosti mezi jednotlivými dutinami a minimální vzdálenosti dutiny od okraje zápustky. Kvůli odlišné činnosti strojů při kování na lisech a bucharích je nutné použít pro každý způsob zápustku s odlišnou výronkovou drážkou, ta je tvořena tzv. můstkem (viz kótu "a" na obr. 27a).

- U bucharových zápustek se používají uzavřené tvary výronkových drážek (viz Obr 27a). Rozměry výronkové drážky a můstku pro buchary se navrhuje dle normy ČSN 22 8308. Tyto zápustky je nutné opatřit na obvodu styčnou plochou, která pohlcuje přebytečnou energii beranu. Zúžením drážky (brzdícím můstkem) se reguluje měrný tlak v dutině zápustky a tím zvyšuje odpor proti vytečení materiálu do drážky. Je tak zajištěno dokonalé zaplnění dutiny zápustky. Díky úzkému můstku je také jednodušší výronek ostříhnout.

- U zápustek pro klikové lisy se používají výronkové drážky otevřené (viz Obr. 27b). Rozměry výronkové drážky a můstku pro svislé kovací lisy se navrhuje dle normy ČSN 22 8306. Zápustky nemohou mít styčnou plochu, jak je tomu u bucharů, protože mají přesně definovanou minimální vzdálenost beranů. Na výšku můstku má vliv pružení lisu a vzdálenosti mezi zápustkami v dolní úvratí. Lisy jsou opatřeny horním a spodním vyhazovačem, který výkovek ze zápustky vytlačí. Zápustkový výkovek může tedy mít menší úkosy.



a) b)
Obr. 27 Tvary výronkových drážek pro a) buchary b) lisy [27]

Odlišné je také upnutí zápustek na stroji.

- Na bucharích jsou zápustky upínány pomocí rybiny, pera a klínu. Rybinovitý výstupek (kořen) je vložen do rybinovité upínací drážky beranu a šaboty a stabilizován klínem. Proti příčnému posuvu je zápustka zabezpečena krátkým perem v boční stěně upínací drážky. Největším problémem upínání zápustek na bucharu je jeho rázový charakter práce, který způsobuje povolování upnutí. Proto se zápustky vyrábí z masivních bloků.
- Na klikových lisech jsou zápustky upínány do držáku (upínače), který je dodáván spolu s lisem a slouží standardně k upnutí tří sad zápustek (dvou předkovacích a jedné dokovací). K uchycení zápustek v držáku pak slouží šrouby a příložky. Na vřetenových lisech jsou zápustky upínány pomocí čelistí, jež jsou staženy šrouby. Oba díly zápustky jsou zajištěny proti přesazení vodícími sloupky a pouzdry, což přispívá ke zvýšení rozměrové přesnosti výkovků ve vodorovném směru.

3. 2. 7 VÝBĚR POLOTOVARU PRO ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ [10] [24]

Výchozím polotovarem pro zápustkové kování jsou zpravidla ústřižky z tyče vyráběné válcováním, čímž nám odpadá problém s prokováním, který se vyskytuje u polotovarů pro volné kování. Přesnější špalíky získáme z tyče třískovým řezáním (oproti stříhání). Všeobecně se u velikosti výkovku vychází z jeho hmotnosti, stejně jako tomu bylo u polotovarů pro volné kování. Menší výkovky se v ojedinělých případech kovají i z tyčových polotovarů délky do 1200 milimetrů a hmotnosti 5kg. Při tomto způsobu kování se hotový výkovek zhotoví na konci tyče a následně se odsekne od polotovaru utínkou. Nejmenší výkovky se kovají po více kusech najednou. V tomto případě jsou spojeny výronkem.

Obecně se hmotnost polotovaru vypočítá následovně:

$$G_{\text{polotovaru}} = G_{\text{výkovek}} + G_{\text{výronek}} + G_{\text{opal}}$$

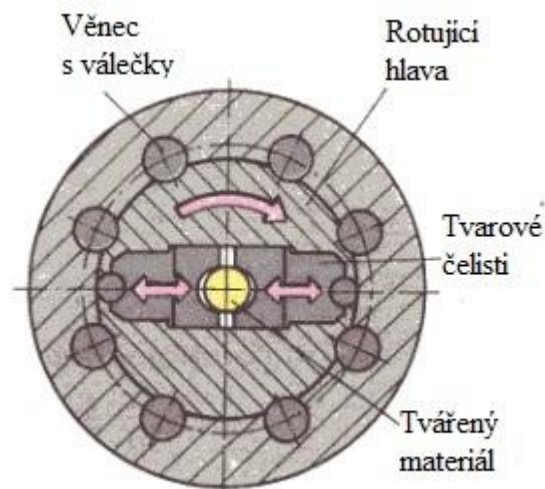
kde: G_{\dots} váhy výchozí, výkovku, výronku, opalu, dle indexu [kg]

Hodnota velikosti hmotnosti výronku činí cca 10% hmotnosti výkovku. Hmotnost opalu závisí na volbě pece pro ohřev. U indukčních je opal počítán 0,5 až 1%, u plynových 2 až 3% hmotnosti výkovku.

3. 3 SPECIÁLNÍ ZPŮSOBY KOVÁNÍ [5] [27]

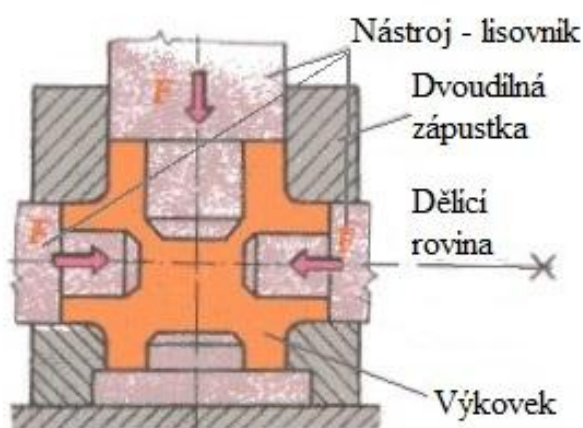
Kromě klasického volného kování a kování zápustkového (s výronkem, nebo bez něj) lze pro výrobu součástí použít taky rotační kování, nebo vícecestné kování.

- Rotační kování se používá zpravidla pro zužování trubek, osazování kruhových i čtyřhranných tyčí, tváření drážkových dutin, nebo vytvoření válcové části na hranatém profilu. Probíhá za studena pro součásti menších průměrů než 50mm. Součásti větších průměru jsou kovány klasicky za tepla. Deformace materiálu je prováděna opakovanými údery, proto se tento způsob výroby řadí mezi kování. Existuje více různých typů strojů. Jeden příklad lze vidět na obrázku 28. Dvě kovádky mají možnost posouvat



Obr. 28 Pracovní část rotačního kovacího stroje [5]

- se a kmitat v radiálním směru vzhledem ke kovanému materiálu. Rotující hlava se roztočí a tvarové čelisti jsou odstředivou silou unášeny k obvodu. Tam narazí kalené válečky, které zapříčiňují dostředný impuls čelistí. Takto vzniká opakovaný ráz stroje. Polotovar je pomalu otáčen kolem své osy a zároveň vsunován do tvářecího procesu.
- Vícecestné kování (viz Obr. 29) se svým charakterem podobá přesnému kování v uzavřených zápustkách. Výkovky dosahují velmi přesných rozměrů a přídavky na obrábění jsou minimální. Materiál je podroben tlaku lisu z několika stran. Je tedy nutné mít k dispozici speciální stroj, který je opatřen vodorovnými i horizontálními nástroji.



Obr. 29 Příklad vícecestného kování [5]

4 ZÁVĚRY

Strojní kování, ať již volné, nebo zápustkové, je velmi komplexní proces. Pro docílení kvalitních výkovků je třeba jak dobré přípravy, kvalitních strojů pro samotné kování, tak i adekvátních úprav po vykování.

Při přípravách je třeba analyzovat konstrukci výkovku. Vychází se z konečného výkresu součásti navrhnuté konstruktérem. Pro kování je nutno vytvořit výkres nový, obohacený o příslušné přídavky, či jiné technologické prvky. Po návrhu výkresu výkovku přichází na řadu výpočet sil a práce, podle kterých se zvolí vhodný buchar či lis. Volba polotovaru je jedna z nejdůležitějších součástí kovacích příprav u volného kování. Odvíjí se od ní následné prokování materiálu, tedy zlepšení mechanických vlastností. Ohřev je nepostradatelný pro obě dvě metody kování. Je zajišťován v různorodých pecích, různými rychlostmi, což má za následek mírně odlišné vlivy na případné materiálové vady, kterým se však umíme elegantně vyhýbat a bránit.

Pro samotné kování se vybírá ze spousty možných procesů, aby bylo dosaženo konečného výkovku. U volného kování je tato část poněkud jednodušší, jelikož není tak nástrojově variabilní, jako kování v zápustkách. Leč sebemenší změna rozměru zápustkového výkovku přináší změnu celého nástroje, tedy zápustky, což u volného kování nenastává. Už tak poměrně složitý postup konstrukce zápustky je navíc odlišný podle toho, jestli je zápustkové kování prováděno na lisu, či bucharu.

Po samotném procesu kování práce s výkovkem z daleka nekončí. U volného kování velkých výkovků se často vyskytují geometrické odchylky, odchylky průřezů, u menších potom také různá vyboulení. Je tedy nevyhnutelné dále výkovek obrábět. Zápustkové kování je sice přesnější, co se odchylek týče, nicméně přibývá práce s ostřížením výronku u kování v zápustkách s výronkovou drážkou. Potřeba obrábět zůstává také, ačkoli není tak výrazná.

Přestože jsme již ušli velmi dlouhou cestu za dokonalými výkovky, pořád je co zlepšovat a inovovat z hlediska spotřeby materiálu, bezpečnosti práce či automatizace výroby.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. POČTA, Bohumil. *Základy teorie tváření kovů*. Praha: SNTL-NAKLADATELSTVÍ TECHNICKÉ LITERATURY, 1966.
2. FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. 2. vydání. Brno: AKADEMICKÉ KLADATELSTVÍ CERM, s.r.o., 2004. 167 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-2764-7.
3. GYMNÁZIUM CHEB. *Skupenství látek* [online]. 2007 [cit. 2017-04-27]. Dostupné z: http://absolventi.gymcheb.cz/2007/jajindr/Stranky/skupenstvi_latek.html
4. BEZDĚK, Pavel. *Zápusťkové kování ozubeného kola*. Brno, 2012. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Marek Štroner, PhD.
5. TECHNICKÁ UNIVERZITA LIBEREC. *Katedra tváření kovů a plastů* [online], 2005 [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/03.htm
6. XYZ KLADIVA. *Speciální kladiva a jiné ruční nářadí* [online]. 2016 [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: <http://www.xyzkladiva.cz/>
7. ELFMARK, Jiří. *Tváření kovů*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1992. Technický průvodce. ISBN 80-030-0651-1.
8. Poznátky z výuky na VUT v Brně
9. ŘEZÁČ, Pavel. *Výroba rotační součástí objemovým tvářením*. Brno, 2007. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 76 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Miloslav Kopřiva.
10. HLUCHÝ, Miroslav. *Strojírenská technologie 2: polotovary a jejich technologičnost*. Základy obrábění. Praha: SNTL, 1979, 404 s.
11. LIDMILA, Zdeněk. *Teorie a technologie tváření*. Brno: Univerzita obrany, 2008. ISBN 978-80-7231-580-2.
12. VERLAG DASHOFER. *Rozdělení způsobů tváření*. [online]. 2004 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: http://www.dashofer.cz/download/pdf/stp/13_tvareni.pdf?wa=WWW13IX
13. ALL BIZ. *Zemědělské stroje, Studénka* [online]. 2016 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://www.cz.all.biz/g18475/>
14. NOVOTNÝ, Karel a Zdeněk MACHÁČEK. *Speciální technologie I*. Vyd. 2. Brno: VUT, 1992. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214-0404-3.
15. NOVÁK, Libor. *Stroje používané při volném kování*. Brno, 2014. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, PhD.
16. ML GEAR DESIGN. *Kování, kovací stroje* [online]. 2015 [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: <http://mlgeardesigns.blog.cz/1504/kovani>
17. NOVOTNÝ, Karel. *Výrobní stroje: část I. - Tváření*. 1. vyd. Brno: VUT Brno, 1984, 112 s. MDT 621.7.06.
18. TS PLZEŇ, A.S. *Hydraulické lisy* [online]. 2014 [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://www.tsplzen.cz/hydraulicke-lisy/>
19. STANĚK, Jiří. *Základy stavby výrobních strojů: tvářecí stroje*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2001. ISBN 80-708-2738-6.

20. SVOBODA, Pavel. *Základy konstruování*. 3. vyd. Brno: CERM, 2009. 234 s. ISBN 978-80-7204-633-1
21. MAÁR, Karol. *Kovanie*. Košice: Edičné stredisko TU v Košiciach, 1991. ISBN 80-709-9073-2.
22. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
23. DVOŘÁK, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Technologie II*. Vyd. 3., dopl., v Akademickém nakl. CERM 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2683-7.
24. HAŠEK, Vladimír a kolektiv. *Kování*. 1. vydání. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1965. ISBN 04-233-65
25. ČSN 42 9030. *VÝKOVKY OCELOVÉ ZÁPUSTKOVÉ*. Praha 10 - Hostivař: Vydavatelství ÚNM, 1987.
26. BRADÁČ, Tomáš. *Zápusťkové kování ozubeného kola*. Brno, 2010. Diplomová práce: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 70 s. Vedoucí práce: Ing. Marek Štroner, Ph.D.
27. VAŠKO, Michal. *Technologie zápusťkového kování hřídele*. Brno 2010. Diplomová práce: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 80 s. Vedoucí práce: Ing. Miroslav Šlais.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Typy krystalových mřížek [3]	10
Obr. 2 Mechanismus průběhu kluzu [5]	10
Obr. 3 Mechanismus dvojčatění [5]	11
Obr. 4 Příklady výkovků naležato (ojnice, třmeny, hlavy, držáky, vačky, apod.) [4]	12
Obr. 5 Oblast tvářecích teplot pro uhlíkové oceli [10]	12
Obr. 6 Nástroje pro ruční kování [6]	13
Obr. 7 Typy kovadel [5]	13
Obr. 8 Pěchování [9]	15
Obr. 9 Prodłużování [9]	15
Obr. 10 Děrování [9]	15
Obr. 11 Přesazování [9]	15
Obr. 12 Osazování [9]	15
Obr. 13 Schéma pružinového bucharu [16]	16
Obr. 14 Otevřený jednostojan [15]	16
Obr. 15 Rámový dvoustojan [15]	16
Obr. 16 Hydraulický lis, Pilsen Steel, Plzeň [18]	17
Obr. 17 Schéma lisu [16]	17
Obr. 18 Zápustkové výkovky [13]	18
Obr. 19 Zápustka otevřená (a) a uzavřená (b) [21]	18
Obr. 20 Zobrazení přídavek na náčrtu výkresu součásti [20]	19
Obr. 21 Schéma protiběžného bucharu [15]	20
Obr. 22 Schéma klikového kovacího lisu [16]	20
Obr. 23 Postupová zápustka [5]	21
Obr. 24 Křivky průběhu kovací síly a přetvárné práce [2]	22
Obr. 25 Geometrický výpočtový model dle Tomlenova [26]	23
Obr. 26 Směry tečení materiálu [23]	25
Obr. 27 Tvary výronkových drážek pro a) buchary b) lisy [27]	26
Obr. 28 Pracovní část rotačního kovacího stroje [5]	27
Obr. 29 Příklad vícecestného kování [5]	27